Fermenteren versus composteren

Fermenteren versus composteren

Onderzoek uitgevoerd door:

Feed Innovation Services BV,

Wageningen,

Nederland

In opdracht van:

Agriton,

Noordwolde (Friesland),

Nederland

2013

Feed Innovation Services BV

Generaal Foulkesweg 72
6703 BW Wageningen

T: 0317 465 570
F: 0317 410 773

info@feed-innovation.com
www.feed-innovation.com

BTW: NL 0071.53.582.B.01
KVK: 17086023

- Bankgegevens -
ING Bank, Helmond
Rek. nr. 66.21.43.310
BIC: INGBNL2A
Iban: NL89 INGB 0662 1433 10

Auteurs:

Anke Hitman BSc

Klaas Bos PhD

Marlou Bosch PhD

Arjan van der Kolk MSc

Inhoudsopgave

1 Inleiding 5
2 Materialen en methoden 6
3 Resultaten 12
3.1 Temperatuur 12
3.2 Gewicht 12
3.3 Samenstelling 13
3.3.1 Analyseresultaten 13
3.3.2 Mineralen 16
3.4 CO_2-voetafdruk 18
4 Discussie 19
5 Conclusies 21
Literatuur 22

Bijlage I: Logboek

Bijlage II: CO_2-voetafdruk berekening

1 Inleiding

Composteren van organische (rest)materialen wordt al langere tijd toegepast in de land- en tuinbouw. Bij composteren wordt het materiaal belucht door regelmatig de hoop om te zetten met een frees. Hierdoor ontstaat een sterke groei van micro-organismen. Deze micro-organismen breken de organische stof af. Hierdoor wordt de hoop warm en gaat er veel organische stof verloren.

Een andere optie is het fermenteren van de organische (rest)materialen. Dit proces vindt plaats zonder toetreding van lucht en zonder bewerkingen gedurende het proces. Bij het klaar maken van de hoop wordt er Zeeschelpenkalk, Kleimineralen en Microferm (effectieve micro-organismen) toegevoegd. Vervolgens wordt deze hoop afgesloten van lucht door er een plasticfolie overheen te leggen en dit goed af te sluiten. Na een periode van 6 tot 8 weken is de hoop gefermenteerd. Dit wordt Bokashi genoemd; gefermenteerde organische stof.

Het doel van dit onderzoek was om het effect van fermenteren van organische (rest)materialen te vergelijken met de gebruikelijke manier van composteren. De verwachting was dat door het anaeroob omzetten (fermenteren) van organisch materiaal er meer voedingsstoffen behouden zouden blijven in het product.

In dit rapport wordt als eerste de materialen en methoden beschreven. In hoofdstuk 3 worden de resultaten gegeven. Hierna volgt een discussie en als laatste worden conclusies gegeven.

2 Materialen en methoden

De volgende materialen werden voor de proef gebruikt:

- 26.800 kg bermmaaisel
- 29 liter Microferm
- 293 liter bronwater
- 300 kg Edasil kleimineralen
- 300 kg Ostrea zeeschelpenkalk
- 200 liter vat
- 2 x 12 liter emmers
- 2 x 10 liter gieters
- Weegbrug
- Tractor met kipper
- Tractor met frees
- Shovel (met een dichte bak)
- Temperatuurmeter
- Kuilplastic van minimaal 4 bij 20 m
- Grintzakken
- Zand
- Afdekzeil van minimaal 3 bij 19 m, ter bescherming van het kuilplastic
- Luchtdichte zakjes
- Watervaste stift
- Weegschaal tot 5 kg

De proef werd uitgevoerd bij Van den Hengel boerderijcompostering te Achterveld. In een overdekte loods met een betonnen vloer werden twee langwerpige hopen (ruggen) gemaakt:

1. Bokashi: volgens de Bokashi methode van Agriton;
2. Gangbaar Compost: volgens de traditionele composteringsmethode.

In tabel 1 wordt de proefopzet per rug weergegeven.

Tabel 1: Proefopzet van beide ruggen

	Rug 1: Bokashi	Rug 2: Gangbaar Compost
1. Organisch (rest)materiaal	26.800 kg bermmaaisel afkomstig van de Romeinenbaan te Wijk bij Duurstede	
2. m3 materiaal bepalen	29.700 kg is +- 65 m3, dus 26.800 kg is +- 58,7 m3	
3. Temperatuur bepalen	39,1 °C	
4. Homogeen mengsel van maken	Op één lange rug neergelegd en hier eenmaal met de frees doorheen gereden	
5. Monsters nemen	6 monsters genomen op gelijkverdeelde plaatsen	
6. Verdelen in twee zo identiek mogelijk fracties	13.400 kg, dus +- 29,3 m3	13.400 kg, dus +- 29,3 m3
7. Rug opbouwen met dezelfde breedte en lengte	Laagsgewijs 2,9 m x 18,6 m 0,5 m hoog	2,9 m x 16,5 m. In het midden 1,1 m hoog
- Tijdens rug opbouwen: 1 liter Microferm/m3, 10 kg kleimineralen/m3 en 10 kg Ostrea zeeschelpenkalk/m3 toevoegen	Na iedere laag een gedeelte van de toevoegingen toegevoegd. Totaal is toegevoegd: - 29 liter Microferm opgelost in 293 liter bronwater met behulp van een 200 liter vat, 12 liter emmer en gieters - 300 kg Edasil kleimineralen met behulp van een shovel met een dichte bak - 300 kg Ostrea zeeschelpenkalk met behulp van een shovel met een dichte bak	n.v.t.
8. Na rug opbouwen mixen	Eenmaal met de frees	n.v.t.
9. Aanrijden met shovel	Ja	n.v.t.
10. Temperatuur meten	Op 3 plaatsen in de rug	Op 3 plaatsen in de rug
11. Afdekken met kuilplastic en afdekzeil en verzwaren met grintzakken en zand	Ja	n.v.t.
Wekelijks keren van de rug	n.v.t.	Zie bijlage I.
Iedere week temperatuur meten van beide ruggen en de omgevingstemperatuur	Zie bijlage I. Op 3 plaatsen in de rug (gaten in plastic afdichten met plastictape)	Zie bijlage I. Op 3 plaatsen in de rug
Monsters nemen (drie per rug)	Zie bijlage I. Na 3 en 6 weken.	Zie bijlage I. Iedere week.
Wegen complete rug na 6 weken	Zie bijlage I.	Zie bijlage I.

De toevoegingen aan de Bokashi rug bestonden uit Microferm opgelost in bronwater, Edasil kleimineralen en Ostrea zeeschelpenkalk. Microferm bestaat uit verschillende soorten micro-organismen bestaande uit 5 groepen en 10 geslachten en 80 species. De groepen en geslachten worden in tabel 2 weergegeven.

Tabel 2: Samenstelling Microferm

Groepen	Geslachten
Melkzuur bacteriën	Streptomyces albus albus
Fotosynthetiserende bacteriën	Rhodopseudomonas sphaeroides
Gisten	Lactobacillus plantarum
Actinomyceten	Propionibacterium freudenreichii
Schimmels	Streptococcus lactis
	Streptococcus faecalis
	Aspergillus oryzae
	Mucor hiemalis
	Saccharomyces cerevisiae
	Candida utilis

Tabel 3 geeft de samenstelling van het bronwater weer.

Tabel 3: Samenstelling bronwater

Parameter	Hoeveelheid
Escherichia coli (kve/ml)	<1
Escherichia coli (kve/100ml)	0
Aeroob kiemgetal 22°C (kve/ml)	50
pH-water	7,2
Hardheid (°D)	6
Mangaan (mg/l)	<0,05
Nitriet (mg/l)	<0,05
IJzer (mg/l)	<1,10
Nitraat (mg/l)	<10
Chloride (mg/l)	<35

De samenstelling van Edasil kleimineralen wordt in tabel 4 weergegeven.

Tabel 4: Samenstelling Edasil kleimineralen

Parameter	Hoeveelheid
Montmorillonietgehalte (%)	70-80
Specifieke oppervlakte (m2/g)	600-800
Ionenuitwisselingscapaciteit (mvol/100g)	70-85
Wateropnamecapaciteit (%)	135
Watergehalte (%)	6-8
pH waarde	7-8
Basische werking (%)	4
Dichtheid (g/cm3)	2,6
Siliciumoxide (%)	56
IJzeroxide (%)	0,4
Aluminiumoxide (%)	16,0
Calciumoxide (%)	4,0
Magnesiumoxide (%)	4,0
Kaliumoxide (%)	2,0
Natriumoxide (%)	0,4
Borium (ppm)	1.000
Kobalt (ppm)	35
Koper (ppm)	20
Mangaan (ppm)	300
Molybdeen (ppm)	20
Nikkel (ppm)	50
Zink (ppm)	90

Tabel 5 geeft de samenstelling van Ostrea zeeschelpenkalk weer.

Tabel 5: Samenstelling Ostrea zeeschelpenkalk

Parameter	Hoeveelheid
Droge stof (%)	99,5
As (%)	97,5
Fosfor (%)	0,05
Calcium (%)	37,7
Carbonaat (%)	96,1
Natrium (%)	0,4
Kalium (%)	<0,01
Magnesium (%)	0,02
Koper (mg/kg)	1
IJzer (mg/kg)	5.266
Mangaan (mg/kg)	63
Zink (mg/kg)	5
Kobalt (mg/kg)	<0,5
Arseen (mg/kg)	15,9
Seleen (mg/kg)	0,03
Cadmium (mg/kg)	<0,2
Lood (mg/kg)	<0,2
Kwik (mg/kg)	0,03
Sulfaat (mg/kg)	454
Chloride (mg/kg)	870
Jodide (mg/kg)	<15
Fluor (mg/kg)	160

In figuur 1 een foto van de Bokashi rug bij de start van de proef. De rug met Gangbaar Compost bij de start van de proef wordt in figuur 2 weergegeven.

Figuur 1: Rug 1 Bokashi bij de start

Figuur 2: Rug 2 Gangbaar Compost bij de start

In totaal zijn er drie mengmonsters gemaakt van:

- het bermmaaisel aan de start van het experiment;
- de Bokashi aan het einde van het experiment;
- Gangbaar Compost aan het einde van het experiment.

Deze monsters zijn door Agrarisch Laboratorium Noord Nederland te Ferwerd geanalyseerd. De toegepaste meetmethode en meetonzekerheid worden in tabel 6 weergegeven.

Tabel 6: Toegepaste meetmethode en meetonzekerheid (Agrarische Laboratorium Noord Nederland)

Parameter	Toegepaste meetmethode	Meetonzekerheid
Vocht	gravimetrisch	1,34%
Droge stof	gravimetrisch	3,10%
N Totaal	d.m.v. continious flow analyser	2,56%
N Mineraal	d.m.v. continious flow analyser	6,50%
N Organisch	d.m.v. continious flow analyser	4%
Ruw as	gravimetrisch	2,41%
Ruw eiwit	d.m.v. continious flow analyser	0,49%
Ruwe celstof	gravimetrisch	3,20%
Vet	na hydrolyse	6%
PH	d.m.v. pH meter	0,15%
Suiker	luff schoorl-methode	6,80%
NDF	van Soest methode	13,0%
ADF	van Soest methode	13,0%
ADL	van Soest methode	13,0%
Kalium	ICP	3,64%
Natrium	ICP	5,30%
Calcium	ICP	4,67%
Magnesium	ICP	3,35%
Fosfor	ICP	5,95%
Mangaan	ICP	7,62%
IJzer	ICP	8,68%
Zink	ICP	5,30%
Kobalt	ICP	16%
Molybdeen	ICP	3,36%
Zwavel	ICP	2,10%
Selenium	ICP-MS	15,60%
Chloor	d.m.v. continious flow analyser	7,44%

Hemicellulose is berekend met behulp van de volgende formule:

Hemicellulose = NDF – ADF

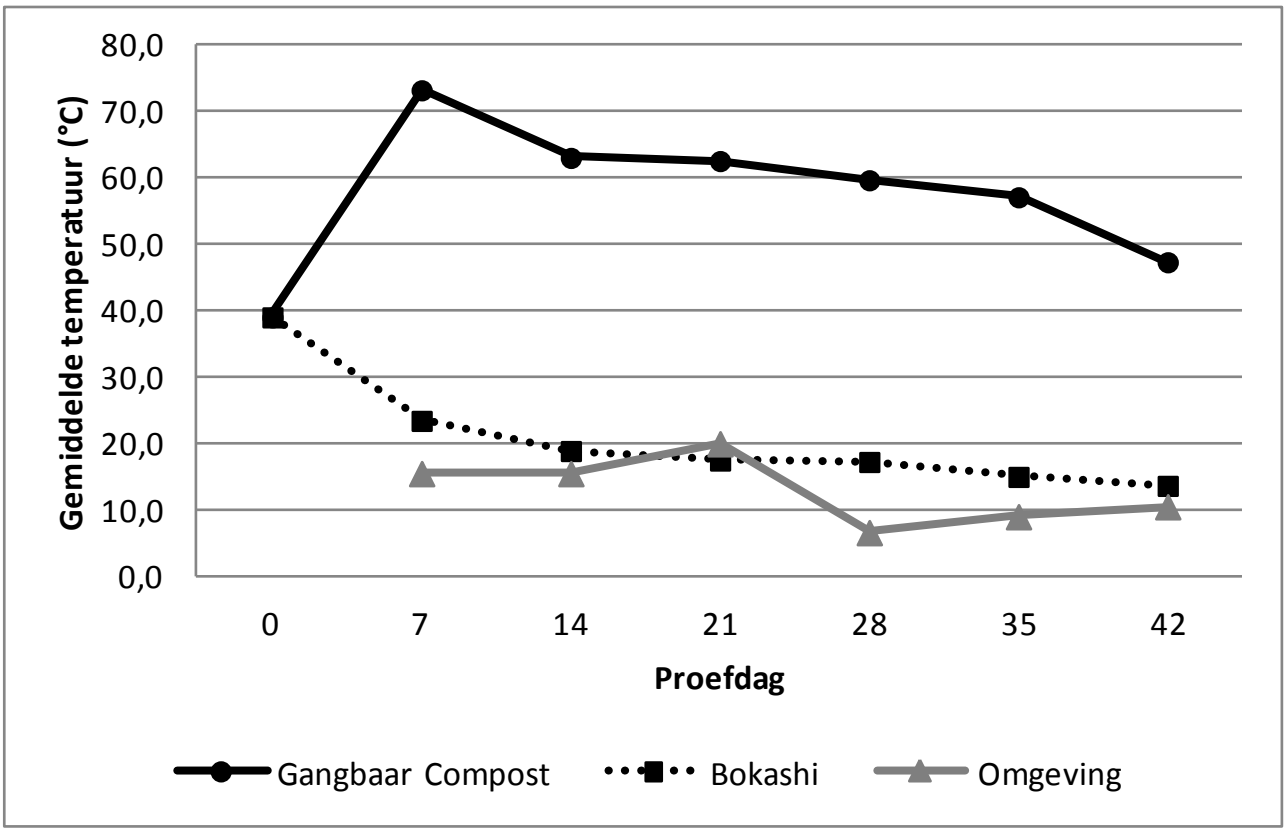
Cellulose is berekend met behulp van de volgende formule:

Cellulose = ADF – ADL (Spiller, 1992)

3 Resultaten

3.1 Temperatuur

De temperatuur van beide ruggen en de omgevingstemperatuur werden wekelijks gemeten. De resultaten zijn weergegeven in figuur 3. Bij de start van het experiment had het bermmaaisel gemiddeld een temperatuur van 39,1 °C. Het Gangbaar Compost steeg in een week naar gemiddeld 73,3 °C. Terwijl de Bokashi naar een gemiddelde temperatuur van 15,5 °C daalde. Gedurende 6 weken daalde de Bokashi naar een gemiddelde temperatuur van 13,7 °C. De temperatuur van de Bokashi was vergelijkbaar met de omgevingstemperatuur. Het Gangbaar Compost daalde vanaf dag 7 ook in temperatuur en ging van gemiddeld 73,3 °C op dag 7 naar gemiddeld 47,4 °C op dag 42. Het Gangbaar Compost had van dag 7 tot 42 een gemiddelde temperatuur van 60,5 °C.



Figuur 3: Temperatuurverloop van Gangbaar Compost, Bokashi en de omgeving.

3.2 Gewicht

Tabel 7 geeft een overzicht van de start- en eindgewichten van de beide ruggen. Voor beide ruggen is 13.400 kg bermmaaisel gebruikt. Aan de Bokashi werd nog 922 kg aan toevoegingen toegevoegd, dus deze rug had een startgewicht van 14.322 kg. Daarnaast werden er meerdere malen monsters van de ruggen genomen. Het eindgewicht van het Gangbaar Compost was 5.070 kg en van de Bokashi 13.870 kg. Bij het Gangbaar Compost "verdween" 8.336 kg (60,2% van het uitgangsmateriaal) en bij Bokashi maar 459 kg (3,2% van het uitgangsmateriaal).

Tabel 7: Verandering in de gewichten (kg) van de beide ruggen

	Gangbaar Compost	Bokashi
Startgewicht	13.400	13.400
Toevoegingen	0	922
Startgewicht	**13.400**	**14.322**
Minus monstermateriaal	6	7
Eindgewicht	**5.070**	**13.870**
"Verdwenen" gewicht	**8.336**	**459**

3.3 Samenstelling

Figuur 4 geeft een foto van de Bokashi na 6 weken fermenteren weer. Het Gangbaar Compost na 6 weken composteren wordt in figuur 5 weergegeven. De Bokashi is vergelijkbaar met graskuil en heeft een zoete geur. Het Gangbaar Compost is veel donkerder van kleur.

Figuur 4: Bokashi na 6 weken fermenteren

Figuur 5: Gangbaar Compost na 6 weken composteren

3.3.1 Analyseresultaten

De analyseresultaten van het bermmaaisel, Gangbaar Compost en Bokashi worden in tabel 8 weergegeven. Gangbaar Compost heeft het hoogste droge stof gehalte, maar hiervan is ook het meeste materiaal “verdwenen”. De analyseresultaten van bermmaaisel versus Bokashi lijken meer op elkaar dan de analyseresultaten van bermmaaisel versus Gangbaar Compost, doordat er bij Bokashi weinig materiaal “verdwenen” is.

Tabel 8: Analyseresultaten bermmaaisel, Gangbaar Compost en Bokashi

	Bermmaaisel	Gangbaar Compost	Bokashi
Ds (g/kg product)	202	273	222
Organische stof (g/kg ds)	787,1	637,4	675,7
C totaal (g/kg ds)	396	318,7	337,8
N totaal (g/kg ds)	17,9	31,4	17,2
N mineraal (g/kg ds)	2,2	1	0,7
N organisch (g/kg ds)	15,7	30,4	16,5
C/N verhouding	22	10,1	19,5
Bruto energie (MJ/kg ds)	16,11	13,4	13,98
Ruw as (g/kg ds)	211	363	328
Ruw eiwit (g/kg ds)	134	216	130
Ruwe celstof (g/kg ds)	310	198	271
Ruw vet (g/kg ds)	27	13	29
pH	7,3	7,9	7,1
Suiker (g/kg ds)	32	18	25
NDF (g/kg ds)	631	464	542
ADF (g/kg ds)	479	483	418
Hemicellulose (g/kg ds)	152	-19	124
Cellulose (g/kg ds	345	221	290
ADL (g/kg ds)	134	262	128

Tabel 9 geeft de totale gehalten in bermmaaisel, Gangbaar Compost en Bokashi weer. Organische stof is de voeding voor het bodemleven en de planten. In Gangbaar Compost is 58,0% van de organische stof “verdwenen”, terwijl in Bokashi het vooral behouden is (97,6%).
De C/N verhouding is ook belangrijk voor de voeding van het bodemleven en de planten. Een hoge C/N verhouding betekent dat er veel organische stof opgebouwd kan worden in de bodem. Een relatief hoog N-gehalte (lage C/N verhouding) kan, afhankelijk van de beschikbaarheid van de stikstof, in korte tijd veel N leveren aan de plant. Vaak gaat een hoog N-gehalte echter ook gepaard met hoge N verliezen (uitspoeling). Een hoge C/N verhouding betekent meer energie, wat resulteert in een grotere organische stof opbouw in de bodem. Bokashi heeft een C/N verhouding van 19,5 en Gangbaar Compost een C/N verhouding van 10,1.
In Gangbaar Compost werd er meer afgebroken dan in Bokashi. Dit blijkt ook uit het hemicellulose gehalte van Gangbaar Compost. Hemicellulose is snel afbreekbaar, gevolgd door cellulose. ADL is daarnaast slecht afbreekbaar en er kan daarom ook aangenomen worden dat gedurende 6 weken weinig ADL is afgebroken. Het hemicellulose gehalte is ongeveer nul (de gevonden negatieve waarde is het gevolg van onnauwkeurigheden in de analyse vermenigvuldigd met de hoeveelheden materiaal) voor Gangbaar Compost, hetgeen aangeeft dat deze in Gangbaar Compost geheel is afgebroken. Bermmaaisel en Bokashi hebben daarnaast een vergelijkbare hoeveelheid hemicellulose. De resultaten laten tevens zien dat ADL niet afgebroken is gedurende de proef. Zowel bermmaaisel, Gangbaar Compost als Bokashi laten een vergelijkbare hoeveelheid ADL zien.

Tabel 9: Totale gehalten in bermmaaisel, Gangbaar Compost en Bokashi

	Bermmaaisel	Gangbaar Compost	Bokashi
Kg product	13.400	5.070	13.870
Ds (kg)	2.706,8	1.384,1	3.079,1
Organische stof (kg)	2.130,6	882,2	2.080,5
C totaal (kg)	1.072,0	441,1	1.040,3
N totaal (kg)	48,2	43,6	52,7
N mineraal (kg)	6,7	1,5	2,8
N organisch (kg)	41,5	42,1	49,9
C/N verhouding (kg)	22	10,1	19,5
Bruto energie (MJ)	215,9	67,9	193,9
Ruw as (kg)	576,2	501,9	1.012,5
Ruw eiwit (kg)	361,8	299,1	402,2
Ruwe celstof (kg)	844,2	273,8	832,2
Ruw vet (kg)	72,4	18,3	88,8
pH	7,3	7,9	7,1
Suiker (kg)	87,1	24,3	76,3
NDF (kg)	1.701,8	643,9	1.664,4
ADF (kg)	1.299,8	669,2	1.289,9
Hemicellulose (kg)	402,0	-25,4	374,5
Cellulose (kg)	938,0	304,2	901,6
ADL (kg)	361,8	365,0	388,4

Zoals uit tabel 7 is gebleken “verdween” er bij composteren 8.336 kg product en bij fermenteren maar 459 kg product. Tabel 10 geeft een overzicht van de “verdwenen” of juist toegenomen gehalten wanneer gekeken wordt naar de totale gehalten in het eindmateriaal minus de totale gehalten in het bermmaaisel. Deze tabel laat zien dat Gangbaar Compost bij alle parameters een lagere waarde heeft dan Bokashi.

Tabel 10: Eindmateriaal minus uitgangsmateriaal (kg)

	Gangbaar Compost	Bokashi*
Ds (kg)	-1.322,7	372,3
Organische stof (kg)	-1.248,4	-50,1
C totaal (kg)	-630,9	-31,8
N totaal (kg)	-4,6	4,5
N mineraal (kg)	-5,2	-3,9
N organisch (kg)	0,5	8,4
C/N verhouding (kg)	n.v.t.	n.v.t.
Bruto energie (MJ)	-147,9	-22,0
Ruw as (kg)	-74,3	436,3
Ruw eiwit (kg)	-62,7	40,4
Ruwe celstof (kg)	-570,4	-12,0
Ruw vet (kg)	-54,1	16,4
pH	n.v.t.	n.v.t.
Suiker (kg)	-62,8	-10,8
NDF (kg)	-1.057,9	-37,4
ADF (kg)	-630,6	-9,9
Hemicellulose (kg)	-427,4	-27,5
Cellulose (kg)	-633,8	-36,5
ADL (kg)	3,2	26,6

* Hierbij is geen rekening gehouden met de toevoegingen, Microferm opgelost in water, Edasil kleimineralen en Ostrea zeeschelpenkalk, aan het bermmaaisel

3.3.2 Mineralen

In tabel 11 worden de analyseresultaten van de mineralen weergegeven. Aan Bokashi zijn o.a. Edasil kleimineralen en Ostrea zeeschelpenkalk toegevoegd. Kleimineralen bevatten allerlei verschillende mineralen en zeeschelpenkalk is vooral een calciumbron. Dit is ook terug te zien aan de mineralengehalten. Bokashi bevat een hoger calciumgehalte dan het bermmaaisel. Gangbaar Compost bevat hogere gehalten mineralen dan het bermmaaisel. Dit wordt veroorzaakt door het “verdwijnen” van een groot deel van het materiaal, waardoor de concentraties hoger worden. Tabel 12 laat dit effect beter zien.

Tabel 11: Mineralen analyseresultaten bermmaaisel, Gangbaar Compost en Bokashi

	Bermmaaisel	Gangbaar Compost	Bokashi
Kalium (g/kg ds)	17,7	24,4	17,1
Natrium (g/kg ds)	1,8	2,1	1,8
Calcium (g/kg ds)	12,3	13,7	21,8
Magnesium (g/kg ds)	2,9	3,6	3,3
Fosfor (g/kg ds)	3,4	5,1	2,2
Chloor (g/kg ds)	0,15	13,6	8,3
Zwavel (g/kg ds)	2,5	4,1	2,6
Mangaan (mg/kg ds)	153	189	171
IJzer (mg/kg ds)	529	454	941
Zink (mg/kg ds)	61	101	69
Kobalt (mg/kg ds)	0,56	1,1	0,12
Molybdeen (mg/kg ds)	1	2,8	1,3
Selenium (mg/kg ds)	0,24	0,6	0,26

In tabel 12 worden de totale hoeveelheid mineralen in bermmaaisel, Gangbaar Compost en Bokashi weergegeven. Gangbaar Compost liet in tabel 11 hogere gehalten per kg ds zien, maar wanneer naar de totale hoeveelheid mineralen gekeken wordt, zijn er in Gangbaar Compost minder mineralen over gebleven dan in bermmaaisel en Bokashi.

Tabel 12: Totale hoeveelheid mineralen in bermmaaisel, Gangbaar Compost en Bokashi

	Bermmaaisel	Gangbaar Compost	Bokashi
Kg product	13.400	5.070	13.870
Kalium (kg)	47,8	33,8	52,7
Natrium (kg)	4,8	2,9	5,5
Calcium (kg)	33,2	19,0	67,3
Magnesium (kg)	7,8	5,0	10,0
Fosfor (kg)	9,2	7,1	6,9
Chloor (kg)	0,4	18,8	26,4
Zwavel (kg)	6,7	5,6	8,3
Mangaan (g)	415,4	263,6	527,1
IJzer (g)	1.433,8	628,7	2.898,8
Zink (g)	160,8	142,0	208,1
Kobalt (g)	1,5	1,5	0,4
Molybdeen (g)	2,7	3,9	4,0
Selenium (g)	0,7	0,9	0,8

3.4 CO_2-voetafdruk

De CO_2-voetafdruk geeft aan hoeveel CO_2 equivalenten er per kg compost uitgestoot worden. Bij composteren wordt er diesel verbruikt bij het transporteren van het bermmateriaal naar het Composteringsbedrijf. Tevens moeten de toevoegingen voor Bokashi getransporteerd worden naar het Composteringsbedrijf. Daarnaast dient het materiaal ook gemixt te worden. Naast de invloed van het dieselverbruik op de CO_2-equivalenten speelt de uitstoot gedurende het composteringsproces ook een rol. Tabel 13 geeft de resultaten van de berekening van de kg CO_2-equivalenten weer voor deze proef. In bijlage II zijn de achterliggende berekeningen te vinden. De kg CO_2-equivalenten van diesel is lager bij Gangbaar Compost dan bij Bokashi. Bij Bokashi dienen de toevoegingen ook naar het Composteringsbedrijf getransporteerd te worden, waardoor het dieselverbruik toeneemt. Desalniettemin hoeft Bokashi alleen in het begin gemixt te worden, terwijl Gangbaar Compost bijna dagelijks gemixt moet worden. De kg CO_2-equivalenten per ton uitgangsmateriaal is voor Bokashi bijna 10 keer lager dan bij Gangbaar Compost. De kg CO_2-equivalenten per ton product is voor Bokashi bijna 27 keer lager dan bij Gangbaar Compost.

Tabel 13: Kg CO_2-equivalenten

	Kg CO_2-equ ruggen	kg CO_2-equ diesel	kg CO_2-equ totaal	kg CO_2-equ/ton uitgangsmateriaal	kg CO_2-equ/ton product
Gangbaar Compost	3305	87	3391	253	669
Bokashi	166	184	350	26	25

4 Discussie

Bij het verdelen van de totale hoeveelheid bermmaaisel over twee ruggen bij de start van de proef kan enig verschil in gewicht per rug zijn ontstaan. Er is namelijk eerst van de totale hoeveelheid bermmaaisel één rug gemaakt waarna deze gemixt werd met een frees om een homogeen mengsel te maken. Vervolgens is de helft van de rug gebruikt voor het maken van de Bokashi rug. Hierbij is het gewicht van dit materiaal niet nogmaals bepaald.

Tijdens het composteren nam de temperatuur toe. Hierdoor vond er “verbranding” plaats en verdween er materiaal. Bij Gangbaar Compost “verdween” er 62,2% materiaal en bij Bokashi 3,2%. Tijdens fermenteren nam de temperatuur niet toe, wat duidt op zeer geringe energieverliezen. De temperatuur van de Bokashi was vergelijkbaar aan de omgevingstemperatuur, dus tijdens fermentatie zal het materiaal een vergelijkbare temperatuur als de omgeving aannemen. De hoge temperatuur bij composteren veroorzaakte waarschijnlijk de verschillen tussen composteren en fermenteren.

De hoge temperatuur van Gangbaar Compost heeft als voordeel dat onkruidzaden hun kiemkracht verliezen. Onkruidzaden verliezen hun kiemkracht bij een temperatuur van hoger dan 50°C. Gangbaar Compost had een gemiddelde temperatuur van 60,5°C. Uit de praktijkervaringen van Agriton met het toepassen van de Bokashi methode blijkt dat bemesten met Bokashi niet leidt tot onkruiden in het land of de tuin. Vermoedelijk kiemen de onkruidzaden tijdens het Bokashi proces, maar sterven vervolgens af door een gebrek aan licht. Dit zou in een kleinschalige proef onderzocht kunnen worden door zaden toe te voegen aan het te fermenteren materiaal en na het proces de staat van de zaden te controleren.

Beide ruggen lagen in een loods op een betonnen vloer. Hierdoor kon er geen regen vanuit de lucht of organismen vanuit de bodem in de ruggen komen. Wel kon er water uit de ruggen weglopen. Hierbij konden wateroplosbare mineralen, zoals kalium en natrium, ook verdwijnen.

De analyseresultaten bevatten een bepaalde meetonnauwkeurigheid. Hierdoor kunnen de weergegeven resultaten een iets afwijkend beeld geven. Vooral wanneer deze vermenigvuldigd worden met de absolute hoeveelheid materiaal. De absolute verschillen worden dan namelijk groter. Tevens speelt de monstername methode ook een rol bij de analyseresultaten. Er is iedere keer op 3 verschillende plaatsen in de rug een monster van de materialen genomen. Uiteindelijk is hier een mengmonster van gemaakt. Desalniettemin kan het zijn dat deze methode niet representatief genoeg is om een homogeen monster te krijgen.

Bij de berekening van hemicellulose en cellulose spelen celwandeiwitten en pectines ook nog een rol. Voor de berekening is aangenomen dat het effect van celwandeiwitten en pectines verwaarloosbaar is.

Tabel 10 gaf een overzicht weer van de “verdwenen” of juist toegenomen gehalten van beide ruggen vergeleken met het uitgangsmateriaal. Bij de berekening van het eindmateriaal van Bokashi minus het uitgangsmateriaal is alleen het bermmaaisel meegenomen. De toevoegingen, Microferm opgelost in bronwater, Edasil kleimineralen en Ostrea zeeschelpenkalk, behoren ook tot het uitgangsmateriaal, maar zijn niet meegenomen in deze berekening. Microferm opgelost in bronwater beïnvloedt vooral de fermentatie. Edasil kleimineralen bevatten vooral kleimineralen die de minerale samenstelling van het eindmateriaal beïnvloed hebben. Ostrea zeeschelpenkalk is vooral een kalkbron en beïnvloedt daardoor het calciumgehalte. Dit is ook terug te vinden in de analyseresultaten. Bokashi bevat een hoger calciumgehalte dan het bermmaaisel.

Bij het berekenen van de CO_2-voetafdruk is gebruik gemaakt van verschillende aannames. Deze berekeningen resulteren dus in een schatting van de CO_2-voetafdruk. Per ton eindproduct is de CO_2 uitstoot voor Bokashi aanzienlijk lager dan voor gangbaar compost. Het grootste deel van het verschil wordt veroorzaakt door het enorme verschil in verliezen, respectievelijk 3,2% en 62,2%, voor Bokashi en Gangbaar Compost.

Uit de resultaten komt naar voren dat fermenteren voor een waardevol product zorgt; er treden nauwelijks energieverliezen op. De beschikbaarheid van de voedingsstoffen voor planten is hierbij echter nog niet meegenomen. Dit punt vergt nader onderzoek.

5 Conclusies

Uit dit onderzoek blijkt dat fermenteren verschillende voordelen heeft vergeleken met composteren:

- Door (rest)materialen te fermenteren werden meer voedingsstoffen behouden, dan wanneer dit materiaal gecomposteerd werd.
- Fermenteren had geen bewerkingen nodig gedurende het proces, terwijl compost regelmatig omgezet moest worden.
- Fermenteren vond onder een vergelijkbare temperatuur als de omgeving plaats, terwijl compost een gemiddelde temperatuur had van 60,5°C.
- Bij fermenteren “verdween” maar 3,2% van het uitgangsmateriaal, terwijl bij composteren 60,2% “verdween”.
- Bij de traditionele compostering werd een groot gedeelte van de organische stof afgebroken en ging daarbij verloren (onder invloed van de sterke beluchting), terwijl bij de Bokashi methode 97,6% % van de organische stof behouden bleef. De organische stof komt ten goede aan het bodemleven en uiteindelijk aan de gewassen.
- De Bokashi methode had een aanzienlijk lagere CO_2-voetafdruk dan Gangbaar Compost.
- De mate van groeistimulering van het gewas door Bokashi compost onder Nederlandse omstandigheden dient nader onderzocht te worden.

In een vervolgonderzoek zal bepaald moeten worden of het gefermenteerde materiaal ook beter beschikbaar is voor plant en bodem.

Literatuur

Boldrin, A., J.K. Andersen, J. Møller, T.H. Christensen & E. Favoino. 2009. Composting and compost utilization: accounting of greenhouse gases and global warming contributions. Waste Management & Research. 27: 800-812.

Dekker, P.H.M., M. van Zeeland & J.G.M. Paauw. 2010. Levenscyclusanalyse groencompost. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Business-unit Akkernouw, Groende Ruimte en Vollegrondsgroente. PPO nr. 3250109709.

Mombarg, H.F.M., A. Kool, W.J. Corré, J.W.A. Langeveld & W. Sukkel. 2003. De telen met toekomst energie- en klimaatmeetlat. Plant Research International, Wageningen.

Spiller, G.A. 1992. CRC Handbook of Dietary fiber in human nutrition 2nd edition.

Bijlage I: Logboek

Tabel 14: Logboek fermenteren versus composteren

Week	Dag	Fermenteren	Composteren
0	vrijdag 28 september 2012	Opzetten	Opzetten
1	zaterdag 29 september 2012	Zand langs de zijkanten van de rug brengen	1x daags mixen
	zondag 30 september 2012		
	maandag 1 oktober 2012		1x daags mixen
	dinsdag 2 oktober 2012		1x daags mixen
	woensdag 3 oktober 2012		1x daags mixen
	donderdag 4 oktober 2012		1x daags mixen
	vrijdag 5 oktober 2012	Temperatuur meten	Temperatuur meten – 3 monsters nemen - 1x daags mixen
2	zaterdag 6 oktober 2012		1x daags mixen
	zondag 7 oktober 2012		
	maandag 8 oktober 2012		1x daags mixen
	dinsdag 9 oktober 2012		1x daags mixen
	woensdag 10 oktober 2012		1x daags mixen
	donderdag 11 oktober 2012		
	vrijdag 12 oktober 2012	Temperatuur meten	Temperatuur meten – 3 monsters nemen - 1x daags mixen
3	zaterdag 13 oktober 2012		1x daags mixen
	zondag 14 oktober 2012		
	maandag 15 oktober 2012		1x daags mixen
	dinsdag 16 oktober 2012		1x daags mixen
	woensdag 17 oktober 2012		
	donderdag 18 oktober 2012		1x daags mixen
	vrijdag 19 oktober 2012	Temperatuur meten – 3 monsters nemen	Temperatuur meten – 3 monsters nemen - 1x daags mixen
4	zaterdag 20 oktober 2012		1x daags mixen
	zondag 21 oktober 2012		
	maandag 22 oktober 2012		1x daags mixen
	dinsdag 23 oktober 2012		
	woensdag 24 oktober 2012		1x daags mixen
	donderdag 25 oktober 2012		
	vrijdag 26 oktober 2012	Temperatuur meten	Temperatuur meten – 3 monsters nemen - 1x daags mixen

5	zaterdag 27 oktober 2012		
	zondag 28 oktober 2012		
	maandag 29 oktober 2012		1x daags mixen
	dinsdag 30 oktober 2012		
	woensdag 31 oktober 2012		1x daags mixen
	donderdag 1 november 2012		
	vrijdag 2 november 2012	Temperatuur meten	Temperatuur meten – 3 monsters nemen - 1x daags mixen
6	zaterdag 3 november 2012		
	zondag 4 november 2012		
	maandag 5 november 2012		1x daags mixen
	dinsdag 6 november 2012		
	woensdag 7 november 2012		1x daags mixen
	donderdag 8 november 2012		
	vrijdag 9 november 2012	Temperatuur meten – 3 monsters nemen – eindgewicht bepalen	Temperatuur meten – 3 monsters nemen – eindgewicht bepalen

Bijlage II: CO_2-voetafdruk berekening

CO_2-equivalenten uit de ruggen

<u>Koolstofomzetting</u>

Aanname:
De toevoegingen aan Bokashi hebben geen invloed op de uitstoot.
CH_4 en CO_2 zijn de enige reactieproducten van de omzetting van het aanwezige C.
Van het omgezet C is 2,4% in CH4 omgezet (Boldrin et al., 2009, tabel 4).
Aangenomen wordt dat dan 97,6% van het omgezet C in CO_2 is omgezet.

Op basis van omgezet C

Gangbaar Compost		
molmassa's		
C	12,01	g/mol
O	16,00	g/mol
H	1,01	g/mol
Reactieverhouding		
Vorming CO_2	97,6%	
Vorming CH_4	2,4%	
Verdwenen C		
massa	630,90	kg
mol	52,53	kmol
Gevormd CO_2		
reactie	$C + O_2 \rightarrow CO_2$	
mol C	51,27	kmol
mol CO_2	51,27	kmol
massa CO_2	**2256,41**	kg
Gevormd CH_4		
reactie	$C + 2\ H_2O \rightarrow CH4 + O_2$	
mol C	1,26	kmol
mol CH_4	1,26	kmol
massa CH_4	**20,22**	kg

Bokashi		
molmassa's		
C	12,01	g/mol
O	16,00	g/mol
H	1,01	g/mol
Reactieverhouding		
Vorming CO_2	97,6%	
Vorming CH_4	2,4%	
Verdwenen C		
massa	31,80	kg
mol	2,65	kmol
Gevormd CO_2		
reactie	$C + O_2 \rightarrow CO_2$	
mol C	2,58	kmol
mol CO_2	2,58	kmol
massa CO_2	**113,73**	kg
Gevormd CH_4		
reactie	$C + 2\ H_2O \rightarrow CH_4 + O_2$	
mol C	0,06	kmol
mol CH_4	0,06	kmol
massa CH_4	**1,02**	kg

Stikstofomzetting

Aanname:
De toevoegingen aan Bokashi hebben geen invloed op de uitstoot.
NO_2 is het enige reactieproduct van de omzetting van het aanwezige N.
Van het aanwezige N in het uitgangsmateriaal wordt 1,15% omgezet in NO_2 (Boldrin et al., 2009, tabel 4)

Reactieverhouding		**molmassa's**		
Vorming NO_2 van N bermmaaisel	1,15%	N	14,01	g/mol
		O	16,00	g/mol

Gangbaar Compost		
N bermmaaisel		
massa	48,20	kg
mol	3,44	kmol
Gevormd CO_2		
reactie	$N + O_2 \rightarrow NO_2$	
mol C	0,04	kmol
mol NO_2	0,04	kmol
massa NO_2	**1,82**	kg

Bokashi	**C totaal (kg)**	**% verdwenen C**	**Gevormd NO_2 (kg)**
Bermmaaisel	1072,00		
Gangbaar Compost	441,10	58,9	1,82
Bokashi	1040,30	3,0	**0,09**

	C totaal	**% verdwenen C**	**Gevormd CO_2**	**Gevormd CH_4**	**Gevormd NO_2**	**CO_2-equ**
Bermmaaisel	1072,00					
Gangbaar Compost	441,10	58,9	2256,41	20,22	1,82	**3304,51**
Bokashi	1040,30	3,0	113,73	1,02	0,09	**166,47**

CO_2-equivalenten van het dieselverbruik

	Compost	Bokashi	*Bron*
1. Transport			
Afstand vrachtwagen bermmaaisel (km)	30,80	30,80	*Afstand Wijk bij Duurstede - Achterveld*
Afstand vrachtwagen toevoegingen (km)	0,00	124,00	*Afstand Agriton - Achterveld*
Dieselverbruik (l per km)	0,37	0,37	*Aanname adhv Dekker et al. (2010) blz 12*
Totaal dieselverbruik (l)	11,40	57,28	
Energieverbruik diesel (MJ/l)	42,40	42,40	*Aanname adhv Dekker et al. (2010) blz 26*
Totaal energieverbruik transport (MJ)	483,19	2428,50	

2. Op de plaats brengen

Het bermmateriaal werd in dezelfde loods neergelegd als de ruggen, waardoor het energieverbruik van het op de plaats brengen van beide ruggen gelijk is.

3. Mixen			
Aantal keer gemixt	26,00	2,00	*Proefopzet en logboek*
Dieselverbruik (l/uur)	10,00	10,00	*Aanname adhv Dekker et al. (2010) blz 26*
Tijdsduur per keer mixen (minuten)	3,75	3,75	*John van de Hengel*
Totale tijdsduur mixen (minuten)	97,50	7,50	
Totale dieselverbruik (l)	16,25	1,25	
Energieverbruik diesel (MJ/l)	42,40	42,40	*Aanname adhv Dekker et al. (2010) blz 26*
Totaal energieverbruik mixen (MJ)	689,00	53,00	
Totaal energieverbruik (MJ)	1172,19	2481,50	
CO_2- equ (1 MJ = 0,074 kg CO_2-equ)	**86,74**	**183,63**	*Mombarg et al. (2003) blz 3*